

青土湖干涸湖底风沙区植被特征与地表输沙量关系

郭树江^{1,2}, 杨自辉^{1,2,3}, 王强强^{1,2}, 王多泽^{1,2},

王飞^{1,3}, 樊宝丽^{1,3}, 张逸君^{1,2}, 李易珺^{1,2}, 王明国¹

(1.甘肃省治沙研究所, 兰州 730070; 2.甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站,
甘肃 民勤 733300; 3.甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室(培育基地), 甘肃 武威 733000)

摘 要:以青土湖干涸湖底为研究对象,选择 9 种典型立地类型,开展群落组成、植被数量特征、地表风沙流输沙量的观测分析,研究了植被特征与输沙量之间的相互关系。结果表明:青土湖干涸湖底主要风沙区灌木层植物 4 种,隶属 4 科 4 属;草本层植物 11 种,隶属 4 科 11 属,灌木层平均盖度为 11.2%,草本层平均盖度 6.5%,植被稀疏,物种建群种单一。不同立地类型多样性指数和均匀度指数均呈现波动变化特征且存在差异性,其中流动沙丘白刺灌丛、固定沙丘白刺灌丛、荒地盐爪爪群落多样性指数较高;固定沙丘白刺灌丛、流动沙丘白刺灌丛、湖底滩地植被分布较均匀。9 种立地类型地表风沙流输沙量监测期各月呈现湖底滩地累计输沙量最大,湖底盐爪爪群落和流动沙丘白刺灌丛次之,且上述 3 种类型输沙量与其他 6 种立地类型输沙量存在显著差异($p < 0.05$)。湖底植被特征中灌木层盖度与地表平均输沙量呈显著负相关关系。

关键词:石羊河;干涸湖底;植被特征;输沙量

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)01-0019-06

Relationship Between Vegetation Characteristics and Sediment Discharge Transported by Surface Wind-Sand Flow in Dry Lake Bottom Sandstorm Area of Qingtu Lake

GUO Shujiang^{1,2}, YANG Zihui^{1,2,3}, WANG Qiangqiang^{1,2}, WANG Duoze^{1,2}, WANG Fei^{1,3},
FAN Baoli^{1,3}, ZHANG Yijun^{1,2}, LI Yiju^{1,2}, WANG Mingguo¹

(1.Gansu Desert Control Reserch Institute, Lanzhou 730070, China; 2.Gansu minqin National
Studies Station for Desert Steppe Ecosystem, Minqin, Gansu 733300, China; 3.State Key Laboratory
Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Wuwei, Gansu 733000, China)

Abstract: In this paper, Qingtu Lake dry lake bottom was taken as the research object, and nine typical site types were selected to carry out the observation and analysis of community composition, vegetation quantity characteristics and sediment discharge transported by surface wind-sand flow, and to study the relationship between vegetation quantity characteristics and sediment discharge. The results show that: four shrub layer plants, belonging to 4 families and 4 genera, were found in the main sandy area of Qingtu Lake; there are 11 herbaceous plants, belonging to 4 families and 11 genera, the average coverage of shrub layer was 11.2%, the average coverage of herbaceous layer was 6.5%, the vegetation was sparse, and the species construction was single; the diversity index and evenness index of different site types showed the fluctuation and difference, the diversity index of flowing *Nitraria tangutorum* shrub, fixed *Nitraria tangutorum* shrub and wasteland *Kalidium foliatum* community were higher; the vegetation distribution of fixed *Nitraria tangutorum* shrub, flowing *Nitraria tangutorum* shrub and lake shoal were more uniform; in the monitoring period, the sediment discharge transported by surface wind-sand flow of the nine sites types showed regularity in each month, and the accumulated sediment discharge of lake shoal was the largest, followed by the lake *Kalidium foliatum* community and the flowing *Nitraria tangutorum* shrub, and the sediment discharges of

收稿日期:2020-03-17

修回日期:2020-04-13

资助项目:国家自然科学基金“石羊河流域下游干涸湖底风蚀特征及盐尘运动规律研究”(31760238);“绿洲防护带植被变化对土壤水分的响应”(31960334);“民勤地区荒漠植物叶片功能性状及水分吸收特征研究”(31700339)

第一作者:郭树江(1984—),男,甘肃永昌人,硕士,副研究员,主要从事荒漠生态定位观测研究。E-mail:shujguo@126.com

通信作者:杨自辉(1962—),男,甘肃民乐人,研究员,主要从事荒漠生态及流域生态研究。E-mail:zihyang@126.com

the above three types were significantly different from those of the other six types ($p < 0.05$); among the quantitative characteristics of the vegetation at the bottom of the lake, there was a significant negative correlation between the shrub cover and the average sediment discharge transported by the surface wind-sand flow, and the increase of the shrub cover affected the sediment discharge transported by the wind-sand flow.

Keywords: Shiyang River; dry lake bottom; vegetation characteristics; sediment discharge

风沙运动是伴随地表土壤风蚀和沙尘暴出现的一种地表过程,会对生态环境与人类生存造成严重危害^[1]。风沙运动规律是治沙理论基础,它能直接表征沙粒的运动形式,判断地表蚀积状况^[2]。长期以来,国内外学者关于风沙运动的研究多通过数值模拟^[3]、室内风洞模拟^[4-6]或野外观测^[7-8]得出,并取得了一系列研究成果。风沙运动最普遍的形式就是风沙流^[9],而植被状况是下垫面中影响近地面风沙流输沙量的重要因素之一^[10],关于植被特征对风沙运动的影响,部分学者也开展了相关研究^[11-14],结果表明,植被可阻断风对植被所覆盖地表的直接作用,降低近地表风速,增加地表粗糙度,削弱风沙流强度,减小就地起沙,降低风沙流携沙能力使沙粒沉积。

青土湖是石羊河流域下游的尾间湖泊,在 1959 年完全干涸后,湿地植被演化为盐碱化荒漠,成为新的沙尘暴起沙源^[15-16],在极端干旱的环境和恶劣的自然条件影响下,地表风蚀和沙漠化严重,细小的盐碱粉尘被卷入空气中,严重影响着周边农业生产、交通运输,制约当地经济社会的可持续发展^[17]。为了改善石羊河下游区域生态环境,2010 年石羊河上游来水量增加,干涸 51 a 之久的青土湖人工湿地逐步形成,对于调节区域气候、维持沙漠生态环境、保护生物多样性、减小盐碱沙尘对环境的污染、促进沙区经济发展和提高人民生活质量起到了重要意义,但由于上游来水量有限、蒸发强烈、入渗补给地下水等因素,大面积湖床常年处于裸露状态,盐碱风沙危害依然严重^[18]。郭树江等^[19]对石羊河流域下游青土湖近地层 0~50 m 盐尘的分布规律及风速的变化特征进行了研究,结果表明研究区年内平均风速最大为 5 月,最小为 11 月,盐尘水平通量的空间分布随高度的增加而增加。而对于青土湖干涸湖底植被特征与风沙活动之间的关系并未进行研究,因此开展该区植被特征与风沙流输沙量之间相互关系研究,既可阐明湖底风沙区植物种群及群落的动态特征,还可以揭示不同立地条件风沙流输沙量与植被数量特征之间的关系。研究成果可补充和完善干涸湖底风沙环境资料,并对内陆河干涸尾间湖泊风蚀沙漠化形成机理具有重要的参考价值,同时也为湖底植物多样性保育和盐碱化荒漠治理提供科学依据。

1 研究区概况

青土湖位于石羊河流域下游,地理位置为 39°08'N, 103°35'E,海拔高度为 1 292~1 310 m,该区域属于温带大陆性干旱荒漠气候。年平均气温为 7.8℃,大于 10℃的有效积温 3 289.1℃;年降水量 110 mm 左右,蒸发量达 2 640 mm 以上;无霜期 168 d,日照时数 3 181 h,太阳辐射 630 kJ/cm²;全年盛行西北风,危害风向主要为西北风,风力强劲,年均风速 4.1 m/s。区域地形地貌为湖相沉积基质上相互交错分布流动、半固定、固定沙丘和丘间低地,沙丘高度 3~10 m。地带性土壤为灰棕漠土,非地带性土壤为草甸沼泽土和风沙土。研究区白刺灌丛土壤可溶生盐分含量达 9.0 g/kg,流动沙地梭梭林含量为 1.5 g/kg 左右。植被类型为典型的荒漠植被,主要植被类型为唐古特白刺灌丛(*Form. Nitraria tangutorum*)、人工梭梭林(*Haloxylon ammodendron*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)群落和芦苇群落(*Form. Phragmites australis*),白刺沙堆呈斑块状分布,面积相对较大,芦苇群落主要分布在地下水位较浅的区域。草本植物有猪毛菜(*Salsola collina*),骆驼刺(*Zygophyllum fabago*),戟叶鹅绒藤(*Cynanchum sibiricum*),沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*),砂蓝刺头(*Echinops gmelinii*),碟果虫实(*Corispermum patelli forme*)等。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

青土湖自 2010 年上游来水量增加,湖底人工湿地逐渐形成,本研究只对湖底风沙区进行试验、研究,而对于人工湿地区未进行观测。2018 年 9 月对湖底风沙区开展调查,湖底不同植被群落呈片状集中分布,主要分布有天然白刺灌丛、人工梭梭林、天然盐爪爪群落,各群落灌木植物优势种明显,且每个植物群落立地条件差异明显。因此根据植被群落类型和立地类条件,将研究区内划分为 9 个类型,分别为流动沙丘白刺灌丛、半固定沙丘白刺灌丛、固定沙丘白刺灌丛(丘间地和沙包表面完全被盐结皮覆盖)、稳定沙丘白刺灌丛(位于湿地区下风向,无沙源补充,丘间地和沙包表层砂粒较粗,沙包表面结皮覆盖少)、流动沙地梭梭林、盐碱沙地梭梭

林、湖底盐爪爪群落、荒地盐爪爪群落、湖底滩地(表 1),样地的选择中在每种类型中心区域沿主风向每隔 100 m 设置 10 m×10 m 的植被调查样方 3 个,共设

置样方 27 个,调查植物群落植物种类、数量、株高、冠幅、新梢生长量,并计算密度、各种植物盖度、多样性指数等。同时测定并记录各样地经纬度等。

表 1 观测样地基本情况

序号	样地类型	经度 E	纬度 N	主要植物种
1	流动沙丘白刺灌丛	103°34′31.14″	39°09′16.42″	唐古特白刺、盐生草(<i>Halogeton glomeratus</i>)、猪毛菜(<i>Salsolacollina Pall</i>)、沙蓬、骆驼蹄瓣
2	半固定沙丘白刺灌丛	103°33′42.8″	39°09′5.54″	唐古特白刺、盐生草、猪毛菜、沙蓬、骆驼蹄瓣、芦苇
3	固定沙丘白刺灌丛	103°36′1.51″	39°09′41.80″	唐古特白刺、黑果枸杞、盐爪爪、盐生草、骆驼蹄瓣、芦苇、戟叶鹅绒藤
4	稳定沙丘白刺灌丛	103°38′9.39″	39°08′18.99″	唐古特白刺、蝶果虫实、雾冰藜(<i>Bassia dasyphylla</i>)、盐生草、猪毛菜、骆驼蹄瓣、芦苇、画眉草、砂蓝刺头、戟叶鹅绒藤
5	流动沙地梭梭林	103°38′17.05″	39°10′25.03″	梭梭、沙蓬、蝶果虫实、雾冰藜
6	盐碱沙地梭梭林	103°36′41.77″	39°04′28.55″	梭梭、盐生草、猪毛菜
7	湖底盐爪爪群落	103°39′37.36″	39°11′7.67″	盐爪爪
8	荒地盐爪爪群落	103°36′42.95″	39°04′17.89″	盐爪爪、黑果枸杞、雾冰藜、猪毛菜、盐生草、芦苇
9	湖底滩地	103°40′20.67″	39°12′29.31″	唐古特白刺白刺、阿拉善碱蓬(<i>Suaeda przewalskii</i>)

2.2 风沙流的观测方法

在研究区 9 种立地类型,每种类型设置观测样地 2 个,在每个样地中选择地势平坦,四周无明显遮挡物的位置安装风沙流流量计 1 套开展观测,分别在 2018 年 12 月 5 日—2019 年 1 月 3 日,2019 年 1 月 3 日—2 月 27 日,2019 年 2 月 27 日—3 月 19 日,2019 年 3 月 19 日—4 月 16 日,2019 年 4 月 16 日—5 月 15 日,2019 年 5 月 15 日—6 月 15 日,2019 年 6 月 15 日—7 月 15 日分别采集了样品,并带回实验室在 105℃ 条件下烘 12 h 后进行称重。本研究风沙流输沙量测定利用甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站研制的“风沙流流量计”(专利号:ZL2006110105285.0)收集近地表 0—50 cm 高度内的风沙流,采集沙样烘干后称量。风沙流在强风的作用下向下风向堆积搬运,危害性大,与防沙措施关系密切,通过对不同立地地表流输沙量的观测和对比分析,研究不同立地条件地表输沙量与植被特征之间的关系,确定湖底盐尘的主要起尘区及其影响地表输沙量主要植被特征因素,为湖底植被恢复和盐尘的防治提供技术支撑和理论参考。

2.3 数据处理与分析

利用 Excel 软件分析和统计野外采集的各样方的数据,计算盖度、密度、多样性指数、及均匀度指数,利用 SPSS 17.0 进行方差和相关性分析,Origin 2017 绘制变化图。

2.4 物种多样性测度

利用 Shannon-Wiener 多样性指数(D)来全面地反映群落或生境的物种结构信息及组成的复杂程度

的高低;用 Simpson 优势度指数(H')来表征群落或生境遭破坏后修复能力和对抗干扰能力的强弱;用 Pielou 均匀度指数(E)来反映物种分布情况。其计算公式分别为:

(1) 物种多样性指数计算公式为:

Simpson 指数:
$$D=1-\sum_{i=1}^Sp_i^2 \quad i=1,2,\cdots,S \quad (1)$$

Shannon-Wiener 指数:
$$H'=-\sum_{i=1}^Sp_i\ln p_i \quad (2)$$

(2) 均匀度指数(J_{sw})计算公式为:

Pielou 指数:
$$E=H'/\ln S \quad (3)$$

式中: S 表示样地各层次物种的数目; p_i 表示整个群落总体中第 i 种的个数与物种总个数之比。

3 结果与分析

3.1 干涸湖底风沙区植被特征

3.1.1 植被数量特征 对湖底植物群落的调查统计分析,结果表明,研究区群落稀疏,建群种单一,植被覆盖度低。在调查的 27 个样方中,灌木层植物 4 种,隶属 4 科 4 属;草本层植物 11 种,隶属 4 科 11 属。主要为唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)、梭梭(*Halxylon ammodendron*)、苏枸杞(*Lycium ruthenicum*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*);草本植物包括:沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)、刺沙蓬(*Salsola ruthenica*)、白茎盐生草(*Halogeton arachnoideus*)、蝶果虫实(*Corispermumpatelliforme*)、阿拉善碱蓬(*Suaeda przewalskii*)、骆驼蹄瓣(*Zygophyllum fabago*)、芦苇(*Phragmites australis*)、画眉草(*Pugionium cornutum*)、砂蓝刺头(*Echinops gmel-*

ni)、戟叶鹅绒藤(*Cynanchum sibiricum*)。研究区平均盖度 14.90%，其中灌木层盖度最高为固定沙丘白刺灌丛 22.86%，其次为稳定沙丘白刺灌丛、半固定沙丘白刺灌丛、盐碱沙地梭梭林、流动沙地梭梭林、荒地盐爪爪群落、流动沙丘白刺灌丛、湖底盐爪爪群落，最小为湖

底滩地仅为 0.04%。草本层盖度最大为流动沙地梭梭林为 41.07%，其次为稳定沙丘白刺灌丛 7.56%，其他类型草本盖度均很小。而灌木个数较多的仅为固定沙丘白刺灌丛和荒地盐爪爪群落。稳定沙丘白刺灌丛、半固定沙丘白刺灌丛、流动沙地梭梭林种群密度较大。

表 2 湖底不同群落、立地植被数量特征

样地 类型	灌木 盖度/%	草本 盖度/%	总盖度/ %	丰富度(S)	灌木 种数/个	密度/ (株·m ⁻²)	平均 高度/cm
半固定沙丘白刺灌丛	11.54	0.45	11.99	7	1	25.8	7.7
流动沙丘白刺灌丛	5.52	0.01	5.53	5	1	0.7	6.5
固定沙丘白刺灌丛	22.86	0.37	23.23	6	3	0.8	21.6
流动沙地梭梭林	9.93	41.07	51.00	4	1	23.4	46.2
湖底滩地	0.04	0.07	0.11	2	1	0.1	12.5
盐碱沙地梭梭林	10.64	0.01	10.65	3	1	0.1	52.9
荒地盐爪爪群落	6.25	0.25	6.5	6	2	1.3	11.8
湖底盐爪爪群落	4.32	0.00	4.32	1	1	0.3	20.7
稳定沙丘白刺灌丛	17.67	7.56	25.23	9	1	26.6	11.8

3.1.2 植物群落物种多样性特征 物种多样性是表征生物群落和生态系统结构复杂性的重要指标^[20]，体现了群落结构类型、组织水平、发展阶段、稳定程度和生境差异，反映了生物群落在组成、结构、功能和动态等方面的异质性。本文采用多样性指数、均匀度指数来描述不同植物群落的特种多样性特征。

通过对不同立地条件各植物群落的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数及均匀度平均值作图，比较其差异性。从图 1 可以看出，随着生境和地理位置变化，各植物群落表现出不同的多样性特征。物种丰富度最高为稳定沙丘白刺灌丛，其次为半固定沙丘白刺灌丛、固定沙丘白刺灌丛、荒地盐爪爪群落、流动沙丘白刺灌丛、流动沙地梭梭林，最小为湖底盐爪爪群落；通过对研究区不同立地条件下植被物种多样性指数的计算，9 种立地类型 Shannon-wiener 多样性指数 (H') 中固定沙丘白刺灌丛、荒地盐爪爪群落、流动沙丘白刺灌丛多样性指数较高，而湖底盐爪爪群落、半固定沙丘白刺灌丛、流动沙地梭梭林多样性指数较低。而均匀度指数则表现为固定沙丘白刺灌丛、流动沙丘白刺灌丛、荒地盐爪爪群落、盐碱沙地梭梭林相对均匀。Simpson 指数湖底滩地、荒地盐爪爪群落、流动沙丘白刺灌丛、固定沙丘白刺灌丛与半固定沙丘白刺灌丛、流动沙地梭梭林多样性指数差异 ($p<0.05$)，而湖底滩地、荒地盐爪爪群落与稳定白刺群落之间也存在显著差异 ($p<0.05$)。Shannon-wiener 指数表现为流动沙丘白刺灌丛、固定沙丘白刺灌丛与半固定沙丘白刺灌

丛、流动沙地梭梭林、湖底滩地、盐碱沙地梭梭林、湖底盐爪爪群落、稳定沙丘白刺灌丛之间存在显著差异 ($p<0.05$)，且湖底滩地、荒地盐爪爪群落与流动沙地梭梭林、湖底盐爪爪群落存在显著差异 ($p<0.05$)。Pielou 指数中流动沙丘白刺灌丛、固定沙丘白刺灌丛、湖底滩地与半固定沙丘白刺灌丛、流动沙地梭梭林、盐碱沙地梭梭林、湖底盐爪爪、稳定沙丘白刺灌丛之间存在显著差异 ($p<0.05$)。

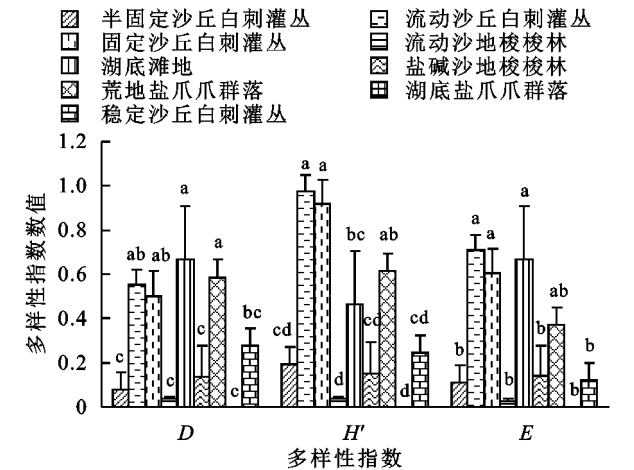


图 1 不同立地条件物种多样性变化特征

3.2 不同立地类型风沙输移沙量变化特征 青土湖干涸湖底植被稀疏，植物种单一，不同立地类型输沙量也存在一定差异(图 2)，而且变化幅度也不一致。测定了 9 种立地类型地表输沙量，通过对观测数据整理分析，结果显示，在 2018 年 12 月 5 日至 2019 年 7 月 15 日期间，在单位宽度(1 m)，50 cm 高度的断面上平均输沙量从大到小依次为：湖底滩地>湖底盐爪爪群落>流动沙丘白刺灌丛>荒地盐爪爪群落>

盐碱沙地梭梭林>半固定沙丘白刺灌丛>流动沙地梭梭林>稳定沙丘白刺灌丛>固定沙丘白刺灌丛。湖底滩地在观测试验期内,累计输沙量达 2 808.2 kg/m,湖底盐爪爪群落为 2 388.2 kg/m,流动白刺灌丛为 2 281.6 kg/m,且 4 月中旬至 5 月中旬输沙量明显高于其他监测时间段。经方差分析显示,湖底滩地、湖底盐爪爪群落、流动沙丘白刺灌丛输沙量与其他 6 种立地类型输沙量存在显著差异($p<0.05$)。

3.3 风沙流输沙量与植被各数量特征之间关系分析

下垫面性质决定了近地面风沙流输沙量,而植被状况是下垫面中影响风沙流的重要因素之一^[10]。

利用湖底不同立地类型植物数量特征值与输沙量进行了相关分析,表 3 为不同立地类型输沙量、灌木盖度、草本盖度、总盖度、丰富度、灌木数、密度、平均高、Shannon-wiener 指数(H')、Simpson 指数(D)、Pielou 指数(E)之间相关系数表。分析结果显示,平

表 3 风沙流输沙量与植被各数量特征之间相关系数

数量特征	灌木盖度	草本盖度	总盖度	丰富度(S)	灌木数	密度	平均高度	D	H'	E	输沙量/ (kg·m ⁻¹)
灌木盖度	1.00										
草本盖度	0.043	1.00									
总盖度	0.518	0.899**	1.00								
丰富度(S)	0.661	-0.097	0.298	1.00							
灌木数	0.565	-0.237	0.076	0.255	1.00						
密度	0.364	0.534	0.633	0.606	-0.335	1.00					
平均高度	0.128	0.519	0.499	-0.39	-0.093	-0.023	1.00				
D	0.462	-0.208	0.200	0.859**	0.384	0.354	-0.474	1.00			
H'	0.581	-0.138	0.267	0.948**	0.363	0.452	-0.440	0.973**	1.00		
E	0.161	-0.240	0.096	0.520	0.237	0.153	-0.327	0.852**	0.727*	1.00	
输沙量/ (kg·m ⁻¹)	-0.798**	-0.335	-0.667*	-0.669*	-0.359	-0.571	-0.347	-0.445	-0.557	-0.168	1.00

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关; ** 表示在 0.01 水平上显著相关。

4 讨论

在干旱区干涸湖底影响植被群落的诸多因素中,土壤盐分是影响物种多样性的决定性因素之一^[21],青土湖属于干涸盐湖,多为耐盐植物构成的单优势种群落,通过测定流动沙丘白刺灌丛含盐量达到 9.0 g/kg,湖底土壤含盐量高是湖底植被稀疏、植物群落结构简单、物种多样性低的重要影响因素。通过对青土湖湖底 2018 年 12 月至 2019 年 7 月风沙流输沙量数据的分析,湖底 4 月、5 月、6 月地表 0—50 cm 高度风沙流输沙量较高,说明研究区风沙运动活跃期存在季节性分布,主要发生在春末夏初时间段,这与青土湖湖底风速呈现明显季节性变化特征且年内较大风速分布在 4—6 月^[19]有密切关系。其次,研究区降水甚少,植被稀疏,春季地表异常干燥松散,抗风蚀能力

均输沙量与灌木盖度呈显著负相关,与总盖度呈负相关关系,植被总盖度与草本层盖度呈正相关关系。湖底仅有流动沙地梭梭林、稳定白刺灌丛草本层盖度较大,而植物数量特征指标中影响输沙量最显著的是灌木层盖度,表明植被盖度越大输沙量越低。

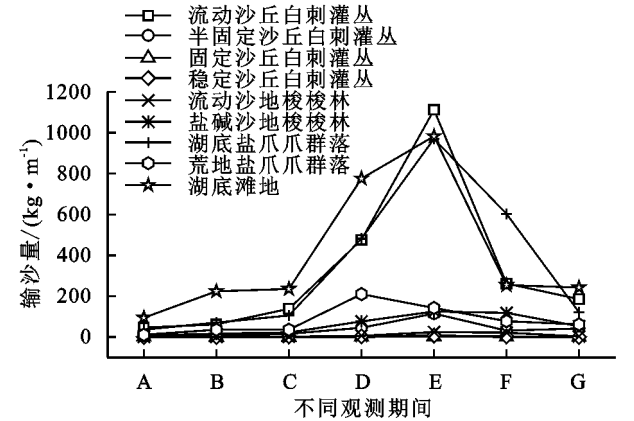


图 2 不同立地类型 0—50 cm 高度风沙流输沙量变化

很弱,在较在风力条件下地表更容易形成风沙流。通过对青土湖干涸湖底 9 种不同立地类型植被特征和地表风沙流平均输沙量的监测,并进行相关性分析,结果表明平均输沙量与灌木盖度呈显著负相关,而与总盖度呈负相关关系,而与草本层盖度相关性不显著,这主要是由于草本层植被在干旱区 4—6 月才开始萌发、生长,或在降雨少的年份,未能萌发,而在风季 4—6 月草本层植被未能发挥较大的防风固沙效能。而物种丰富度与输沙量的关系不显著,主要原因是湖底植物种类少,物种丰富度低,特别是每个植物群落中灌木植物数量少,且优势种明显,因此丰富度对输沙量影响较小。在试验区 9 种类型中虽然不同立地条件植物种平均高度差异性较大,但是人工梭梭林、白刺灌丛、盐爪爪植物群落物种高度与地表输沙量相关关系不显著,是由于湖底大面积人工梭梭

林造林后地表还处于流动状态,风蚀较为严重。

研究结果表明青土湖干涸湖底灌木层植被发挥着重要的防风固沙效能,灌木层盖度的增加显著影响了风沙流输沙量变化。这一研究结果与韩旭娇^[22]、汪季^[11]、余沛东^[23]、董治宝^[24]、邢恩德^[25]、刘芳^[26]等研究的在相同风速条件下,植被盖度是影响风沙流输沙量的重要影响因素的结论是一致的,但是本研究分析结果表明灌木层盖度大小是影响湖底地表风沙流输沙量的主要因素之一,比上述研究结果更进了一步。

5 结论

青土湖干涸湖底风沙区植被覆盖度较低,建群种单一,灌木层植物4种,隶属4科4属;草本层植物11种,隶属4科11属。各立地类型物种多样性指数和均匀度指数均呈现波动变化特征且存在差异性。受风速的季度分布特征影响,青土湖干涸湖底地表风沙活动危害主要集中在4—6月,期间地表风沙流输沙量较大。在9种立地类型中,湖底滩地累计输沙量最大,次之为湖底盐爪爪群落和流动沙的白刺灌丛。

植被盖度是影响地表输沙量的重要影响因素,本研究结果表明青土湖湖底灌木层盖度与平均输沙量呈显著负相关关系,而草本层盖度与输沙量相关性不显著,因此灌木层盖度是影响青土湖湖底地表风沙流风蚀、堆积的重要因素之一,对草本层植被盖度影响较小。

在干旱区干涸湖底土壤盐分是影响物种多样性的决定性因素之一。随着石羊流域综合治理工程的实施,青土湖内芦苇湿地面积逐年增加,但是部分区域仍然被沙丘和盐碱风沙土覆盖,盐碱化问题严重,造成大部分植被不能生长,风沙危害依然存在。在下一步的观测研究中将对湖底风沙区土壤盐分含量对植被群落变化和盐碱风沙土运动的影响进一步开展相关研究。

参考文献:

- [1] 杨欢,李玉强,王旭洋,等.半干旱区不同类型沙丘风沙流结构特征[J].中国沙漠,2018,38(6):1144-1152.
- [2] 王翔宇,朴东均,丁国栋,等.流动沙丘风沙流结构的定量研究[J].水土保持研究,2008,15(2):36-39.
- [3] Anderson R S, Haff P K. Simulation of Aeolian saltation[J]. Science, 1988,241(4867):820-829.
- [4] Dong Z, Liu X, Wang H, et al. The flux profile of a blowing sand cloud;a wind tunnel investigation[J]. Geomorphology, 2003,49(3/4):219-230.
- [5] Bauer B O, Houser C A, Nickling W G. Analysis of velocity profile measurements from wind-tunnel experiments with saltation [J]. Geomorphology, 2004,59(1/4):81-98.
- [6] Kang L, Guo L, Gu Z, et al. Wind tunnel experimental

investigation of sand velocity in aeolian sand transport [J]. Geomorphology, 2008,97(3/4):438-450.

- [7] Dong Z B, Lu J F, Man D Q, et al. Equations for the near surface mass flux density profile of wind-blown sediments[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2011,36(10):1292-1299.
- [8] 张正偲,董治宝.腾格里沙漠东南部野外风沙流观测[J].中国沙漠,2013,33(4):973-980.
- [9] 董治宝.中国风沙物理研究五十年(I)[J].中国沙漠,2005,25(3):293-350.
- [10] 李得禄,满多清,刘有军,等.不同年限退耕地植被与风沙流之间的关系研究[J].西北林学院学报,2018,33(1):56-61.
- [11] 汪季,胡志敏.近地表风沙流结构对不同植被覆盖度的响应[J].干旱区资源与环境,2005,19(5):30-34.
- [12] 王自龙,赵明,冯向东,等.民勤绿洲外围不同下垫面条件下风沙流结构的观测研究[J].水土保持学报,2009,23(4):72-75.
- [13] 王翠,李生宇,雷加强,等.近地表风沙流结构对过渡带不同下垫面的响应[J].水土保持学报,2014,28(3):52-56.
- [14] 张华,李锋瑞,张铜会,等.科尔沁沙地不同下垫面风沙流结构与变异特征[J].水土保持学报,2002,16(2):20-23.
- [15] 赵强,王乃昂,程弘毅,等.青土湖沉积物粒度特征及其古环境意义[J].干旱区地理,2003,26(1):1-5.
- [16] 赵强,王乃昂,薛翔燕,等.民勤盆地 12 kaBP 以来的沉积旋回[J].兰州大学学报:自然科学版,2004,40(1):90-95.
- [17] 王晓峰.艾比湖流域风沙天气与艾比湖干缩之间的关系初探[J].新疆师范大学学报,2004,23(1):53-59.
- [18] 冯绳武.民勤绿洲的水系演变[J].地理学报,1963,29(3):241-249.
- [19] 郭树江,杨自辉,王多泽,等.石羊河流域下游青土湖近地层风尘分布特征[J].干旱区地理,2016,39(6):1255-1262.
- [20] 陈鹏,初雨,顾峰雪,等.绿洲—荒漠过渡带景观的植被与土壤特征要素的空间异质性分析[J].应用生态学报,2003,14(6):904-908.
- [21] Kasuga M. Improving plant drought, salt and freezing tolerance by gene transfer of a single stress-inducible transcription factor[J]. Nature, 1999,17(3):287-291.
- [22] 韩旭娇,张国明,雷洁,等.干涸湖床不同类型盐土地表净风吹蚀试验研究[J].干旱区研究,2019,36(1):262-268.
- [23] 余沛东,陈银萍,李玉强,等.植被盖度对沙丘风沙流结构及风蚀量的影响[J].中国沙漠,2019,39(5):29-36.
- [24] 董治宝,陈渭南,董光荣,等.植被对风沙土风蚀作用的影响[J].环境科学学报,1996,16(4):437-443.
- [25] 邢恩德,马少薇,郭建英,等.植被盖度对典型草原区地表风沙流结构及风蚀量的影响[J].水土保持研究,2015,22(6):331-334.
- [26] 刘芳,郝玉光,娜仁托娅,等.人工绿洲近缘植被对风沙活动降减作用的研究[J].林业资源管理,2009,8(4):79-84.